

DIALOG(R) File 347:JAPIO
(c) 1999 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

04662372 **Image available**
SEMICONDUCTOR LASER

PUB. NO.: 06-334272 [J P 6334272 A]
PUBLISHED: December 02, 1994 (19941202)
INVENTOR(s): NAKANO KAZUSHI
OHATA TOYOJI
ITO SATORU
NAKAYAMA NORIKAZU
APPLICANT(s): SONY CORP [000218] (A Japanese Company or Corporation), JP
(Japan)
APPL. NO.: 05-184436 [JP 93184436]
FILED: June 29, 1993 (19930629)
INTL CLASS: [5] H01S-003/18; H01L-033/00
JAPIO CLASS: 42.2 (ELECTRONICS -- Solid State Components)
JAPIO KEYWORD: R002 (LASERS); R095 (ELECTRONIC MATERIALS -- Semiconductor
Mixed Crystals); R116 (ELECTRONIC MATERIALS -- Light Emitting
Diodes, LED)

ABSTRACT

PURPOSE: To achieve blue or green light emission using ZnMgSSe compound semiconductor as a clad layer by constituting a first clad layer, a first optical waveguide layer, an active layer, a second optical waveguide, and a second clad layer with a compound semiconductor shown by an expression and then forming the active layer to be a single quantum well layer with a specific thickness.

CONSTITUTION: By forming a first clad layer 3 and a second clad layer 7 with ZnMgSSe compound semiconductor ($x=0$, $b=0$) in a compound semiconductor in an expression 1 ($0 \leq x < 1$, $0 \leq y < 1$, $0 \leq a < 1$, $0 \leq b < 1$), the title semiconductor laser with SCH structure where blue or green light can be emitted using the ZnMgSSe compound semiconductor as the material of a clad layer can be achieved. Besides, an active layer 5 has a single quantum well layer 5b which is 2-20nm thick so that the title semiconductor laser has a low threshold current.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-334272

(43) 公開日 平成6年(1994)12月2日

(51) Int.Cl.⁵

H 0 1 S 3/18

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

D 7376-4M

審査請求 未請求 請求項の数21 F D (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平5-184436

(22) 出願日 平成5年(1993)6月29日

(31) 優先権主張番号 特願平5-86721

(32) 優先日 平5(1993)3月22日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川6丁目7番35号

(72) 発明者 中野 一志

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

(72) 発明者 大畑 豊治

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

(72) 発明者 伊藤 哲

東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ

ー株式会社内

(74) 代理人 弁理士 杉浦 正知

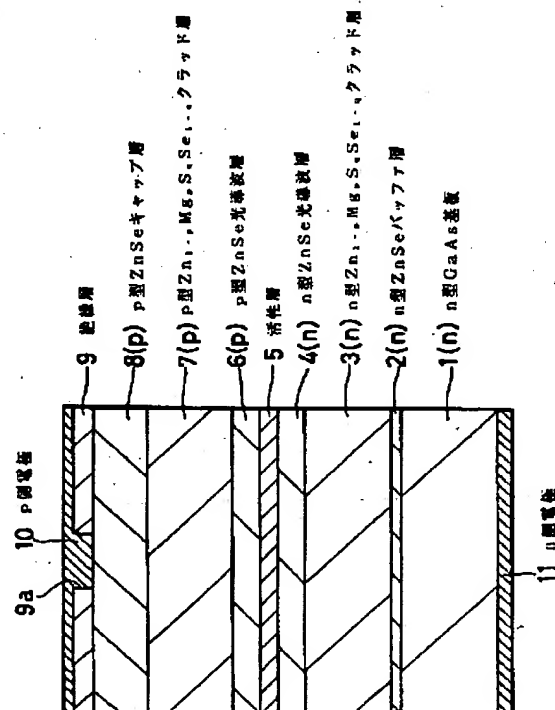
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザー

(57) 【要約】

【目的】 ZnMgSSe 系化合物半導体をクラッド層の材料として用いた、青色ないし緑色で発光が可能な低しきい値電流の半導体レーザーを実現する。

【構成】 n 型 GaAs 基板 1 上に n 型 ZnSe バッファ層 2 を介して n 型 $\text{Zn}_{1-p}\text{Mg}_p\text{S}_q\text{Se}_{1-q}$ クラッド層 3、 n 型 ZnSe 光導波層 4、活性層 5、 p 型 ZnSe 光導波層 6 および p 型 $\text{Zn}_{1-p}\text{Mg}_p\text{S}_q\text{Se}_{1-q}$ クラッド層 7 を順次積層してレーザー構造を形成する。活性層 5 は厚さが $2 \sim 20 \text{ nm}$ の単一の i 型 $\text{Zn}_{1-z}\text{Cd}_z\text{Se}$ 量子井戸層から成るか、合計の厚さが $2 \sim 20 \text{ nm}$ の二つの i 型 $\text{Zn}_{1-z}\text{Cd}_z\text{Se}$ 量子井戸層を含む。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 化合物半導体基板上に積層された第1導電型の第1のクラッド層と、

上記第1のクラッド層上に積層された第1の光導波層と、

上記第1の光導波層上に積層された活性層と、

上記活性層上に積層された第2の光導波層と、

上記第2の光導波層上に積層された第2導電型の第2のクラッド層とを有し、

上記第1のクラッド層、上記第1の光導波層、上記活性層、上記第2の光導波層および上記第2のクラッド層は $Zn_{1-x-y}Cd_xMg_ySe_aTe_bSe_{1-a-b}$ (ただし、 $0 \leq x < 1$ 、 $0 \leq y < 1$ 、 $0 \leq a < 1$ 、 $0 \leq b < 1$) 系化合物半導体から成るとともに、

上記活性層は単一の量子井戸層を有し、かつ上記量子井戸層の厚さは2~20nmであることを特徴とする半導体レーザー。

【請求項2】 上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層は $ZnMgSSe$ 系化合物半導体から成り、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層は $ZnSSe$ 系化合物半導体または $ZnSe$ 系化合物半導体から成り、上記活性層は $ZnCdSe$ 系化合物半導体から成る上記量子井戸層から成ることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザー。

【請求項3】 上記化合物半導体基板は $GaAs$ 基板であり、上記第1のクラッド層は $ZnSe$ から成るバッファ層を介して上記 $GaAs$ 基板上に積層され、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層は $0 < p \leq 0.2$ 、 $0 < q \leq 0.3$ の $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ から成り、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層は $0 < u \leq 0.1$ の $ZnSuSe_{1-u}$ または $ZnSe$ から成り、上記活性層は $0 < z \leq 0.3$ の $Zn_{1-z}Cd_zSe$ から成る上記量子井戸層から成り、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層と上記量子井戸層との間のバンドギャップの差は0.25eV以上であり、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層と上記量子井戸層との間のバンドギャップの差は0.1eV以上であることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザー。

【請求項4】 上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層は $ZnMgSSe$ 系化合物半導体から成り、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層は $ZnMgSSe$ 系化合物半導体から成り、上記活性層は $ZnSSe$ 系化合物半導体または $ZnSSe$ 系化合物半導体から成る上記量子井戸層から成ることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザー。

【請求項5】 上記化合物半導体基板は $GaAs$ 基板であり、上記第1のクラッド層は $ZnSe$ から成るバッファ層を介して上記 $GaAs$ 基板上に積層され、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層は $0.1 \leq p$

2

≤ 0.4 、 $0.15 \leq q \leq 0.45$ の $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ から成り、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層は $0.05 \leq p \leq 0.15$ 、 $0.1 \leq q \leq 0.2$ の $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ から成り、上記活性層は $ZnSe$ から成る上記量子井戸層から成り、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層と上記量子井戸層との間のバンドギャップの差は0.25eV以上であり、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層と上記量子井戸層との間のバンドギャップの差は0.1eV以上であることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザー。

【請求項6】 上記化合物半導体基板は $GaAs$ 基板であり、上記第1のクラッド層は $ZnSe$ から成るバッファ層を介して上記 $GaAs$ 基板上に積層され、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層は $0.15 \leq p \leq 0.5$ 、 $0.2 \leq q \leq 0.55$ の $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ から成り、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層は $0.1 \leq p \leq 0.2$ 、 $0.15 \leq q \leq 0.25$ の $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ から成り、上記活性層は $0.01 \leq u \leq 0.1$ の $ZnSuSe_{1-u}$ から成る上記量子井戸層から成り、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層と上記量子井戸層との間のバンドギャップの差は0.25eV以上であり、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層と上記量子井戸層との間のバンドギャップの差は0.1eV以上であることを特徴とする請求項1記載の半導体レーザー。

【請求項7】 化合物半導体基板上に積層された第1導電型の第1のクラッド層と、
上記第1のクラッド層上に積層された第1の光導波層と、

上記第1の光導波層上に積層された活性層と、

上記活性層上に積層された第2の光導波層と、

上記第2の光導波層上に積層された第2導電型の第2のクラッド層とを有し、

上記第1のクラッド層、上記第1の光導波層、上記活性層、上記第2の光導波層および上記第2のクラッド層は $Zn_{1-x-y}Cd_xMg_ySe_aTe_bSe_{1-a-b}$ (ただし、 $0 \leq x < 1$ 、 $0 \leq y < 1$ 、 $0 \leq a < 1$ 、 $0 \leq b < 1$) 系化合物半導体から成るとともに、

上記活性層は二つの量子井戸層を有し、かつ上記二つの量子井戸層の合計の厚さは2~20nmであることを特徴とする半導体レーザー。

【請求項8】 上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層は $ZnMgSSe$ 系化合物半導体から成り、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層は $ZnSSe$ 系化合物半導体または $ZnSe$ 系化合物半導体から成り、上記活性層は $ZnCdSe$ 系化合物半導体から成る第1の量子井戸層、上記第1の量子井戸層上に積層された $ZnSe$ 系化合物半導体から成る障壁層および上記障壁層上に積層された $ZnCdSe$ 系化合物半導体から

成る第2の量子井戸層から成ることを特徴とする請求項7記載の半導体レーザー。

【請求項9】 上記化合物半導体基板はGaAs基板であり、上記第1のクラッド層はZnSeから成るバッファ層を介して上記GaAs基板上に積層され、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層は $0 < p \leq 0.2$ 、 $0 < q \leq 0.3$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層は $0 < u \leq 0.1$ の $ZnSuSe_{1-u}$ またはZnSeから成り、上記活性層は $0 < z \leq 0.3$ の $Zn_{1-z}Cd_zSe$ から成る第1の量子井戸層、上記第1の量子井戸層上に積層されたZnSeから成る障壁層および上記障壁層上に積層された $0 < z \leq 0.3$ の $Zn_{1-z}Cd_zSe$ から成る第2の量子井戸層から成り、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層と上記第1の量子井戸層および上記第2の量子井戸層との間のバンドギャップの差は 0.25eV 以上であり、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層と上記第1の量子井戸層および上記第2の量子井戸層との間のバンドギャップの差は 0.1eV 以上であることを特徴とする請求項7記載の半導体レーザー。

【請求項10】 上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層はZnMgSSe系化合物半導体から成り、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層はZnMgSSe系化合物半導体から成り、上記活性層はZnSe系化合物半導体またはZnSSe系化合物半導体から成る第1の量子井戸層、上記第1の量子井戸層上に積層されたZnMgSSe系化合物半導体から成る障壁層および上記障壁層上に積層されたZnSe系化合物半導体またはZnSSe系化合物半導体から成る第2の量子井戸層から成ることを特徴とする請求項7記載の半導体レーザー。

【請求項11】 上記化合物半導体基板はGaAs基板であり、上記第1のクラッド層はZnSeから成るバッファ層を介して上記GaAs基板上に積層され、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層は $0.1 \leq p \leq 0.4$ 、 $0.15 \leq q \leq 0.45$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層は $0.05 \leq p \leq 0.15$ 、 $0.1 \leq q \leq 0.2$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、上記活性層はZnSeから成る第1の量子井戸層、上記第1の量子井戸層上に積層された $0.05 \leq p \leq 0.15$ 、 $0.1 \leq q \leq 0.2$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成る障壁層および上記障壁層上に積層されたZnSeから成る第2の量子井戸層から成り、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層と上記第1の量子井戸層および上記第2の量子井戸層との間のバンドギャップの差は 0.25eV 以上であり、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層と上記第1の量子井戸層および上記第2の量子井戸層との間のバンドギャップの差は 0.1eV 以上であることを特徴とする請求項7記載の半導体レーザー。

1eV 以上であることを特徴とする請求項7記載の半導体レーザー。

【請求項12】 上記化合物半導体基板はGaAs基板であり、上記第1のクラッド層はZnSeから成るバッファ層を介して上記GaAs基板上に積層され、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層は $0.15 \leq p \leq 0.5$ 、 $0.2 \leq q \leq 0.55$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層は $0.1 \leq p \leq 0.2$ 、 $0.15 \leq q \leq 0.25$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、上記活性層は $0.01 \leq u \leq 0.1$ の $ZnSuSe_{1-u}$ から成る第1の量子井戸層、上記第1の量子井戸層上に積層された $0.1 \leq p \leq 0.2$ 、 $0.15 \leq q \leq 0.25$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成る障壁層および上記障壁層上に積層された $0.01 \leq u \leq 0.1$ の $ZnSuSe_{1-u}$ から成る第2の量子井戸層から成り、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層と上記第1の量子井戸層および上記第2の量子井戸層との間のバンドギャップの差は 0.25eV 以上であり、上記第1の光導波層および上記第2の光導波層と上記第1の量子井戸層および上記第2の量子井戸層との間のバンドギャップの差は 0.1eV 以上であることを特徴とする請求項7記載の半導体レーザー。

【請求項13】 化合物半導体基板上に積層された第1導電型の第1のクラッド層と、上記第1のクラッド層上に積層された活性層と、上記活性層上に積層された第2導電型の第2のクラッド層とを有し、上記第1のクラッド層、上記活性層および上記第2のクラッド層は $Zn_{1-x-y}Cd_xMg_yS_aTe_bSe_{1-a-b}$ （ただし、 $0 \leq x < 1$ 、 $0 \leq y < 1$ 、 $0 \leq a < 1$ 、 $0 \leq b < 1$ ）系化合物半導体から成るとともに、上記活性層の厚さは $15 \sim 60\text{nm}$ であることを特徴とする半導体レーザー。

【請求項14】 上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層はZnMgSSe系化合物半導体から成り、上記活性層はZnSSe系化合物半導体、ZnSe系化合物半導体またはZnCdSe系化合物半導体から成ることを特徴とする請求項13記載の半導体レーザー。

【請求項15】 上記化合物半導体基板はGaAs基板であり、上記第1のクラッド層はZnSeから成るバッファ層を介して上記GaAs基板上に積層され、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層は $0.1 \leq p \leq 0.4$ 、 $0.15 \leq q \leq 0.45$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、上記活性層はZnSeから成り、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層と上記活性層との間のバンドギャップの差は 0.25eV 以上であることを特徴とする請求項13記載の半導体レーザー。

【請求項16】 上記化合物半導体基板はGaAs基板であり、上記第1のクラッド層はZnSeから成るバッファ層を介して上記GaAs基板上に積層され、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層は $0.15 \leq p \leq 0.5$ 、 $0.2 \leq q \leq 0.55$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、上記活性層は $0 < u \leq 0.1$ の $ZnSuSe_{1-u}$ から成り、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層と上記活性層との間のバンドギャップの差は 0.25eV 以上であることを特徴とする請求項13記載の半導体レーザー。

【請求項17】 上記化合物半導体基板はGaAs基板であり、上記第1のクラッド層はZnSeから成るバッファ層を介して上記GaAs基板上に積層され、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層は $0 < p \leq 0.2$ 、 $0 < q \leq 0.3$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、上記活性層は $0 < z \leq 0.3$ の $Zn_{1-z}Cd_zSe$ から成り、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層と上記活性層との間のバンドギャップの差は 0.25eV 以上であることを特徴とする請求項13記載の半導体レーザー。

【請求項18】 化合物半導体基板上に積層された第1導電型の第1のクラッド層と、上記第1のクラッド層上に積層された活性層と、上記活性層上に積層された第2導電型の第2のクラッド層とを有し、上記第1のクラッド層、上記活性層および上記第2のクラッド層は $Zn_{1-x-y}Cd_xMg_ySaTebSe_{1-a-b}$ （ただし、 $0 \leq x < 1$ 、 $0 \leq y < 1$ 、 $0 \leq a < 1$ 、 $0 \leq b < 1$ ）系化合物半導体から成るとともに、上記活性層は複数の量子井戸層を有し、かつ上記複数の量子井戸層の合計の厚さは $10 \sim 35\text{nm}$ であることを特徴とする半導体レーザー。

【請求項19】 上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層はZnMgSSe系化合物半導体から成り、上記活性層は交互に積層されたZnSSe系化合物半導体またはZnMgSSe系化合物半導体から成る複数の障壁層およびZnSe系化合物半導体から成る複数の量子井戸層から成ることを特徴とする請求項18記載の半導体レーザー。

【請求項20】 上記化合物半導体基板はGaAs基板であり、上記第1のクラッド層はZnSeから成るバッファ層を介して上記GaAs基板上に積層され、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層は $0.1 \leq p \leq 0.4$ 、 $0.15 \leq q \leq 0.45$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、上記活性層は交互に積層された $0.05 \leq p \leq 0.4$ 、 $0.1 \leq q \leq 0.45$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成る複数の障壁層およびZnSeから成る複数の量子井戸層から成り、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層と上記量子井戸層との間のバンドギャップの差は 0.25eV 以上であ

り、上記障壁層と上記量子井戸層との間のバンドギャップの差は 0.1eV 以上であることを特徴とする請求項18記載の半導体レーザー。

【請求項21】 上記化合物半導体基板はGaAs基板であり、上記第1のクラッド層はZnSeから成るバッファ層を介して上記GaAs基板上に積層され、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層は $0.15 \leq p \leq 0.5$ 、 $0.2 \leq q \leq 0.55$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、上記活性層は交互に積層された $0.1 \leq p \leq 0.5$ 、 $0.15 \leq q \leq 0.55$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成る複数の障壁層および $0 < u \leq 0.1$ の $ZnSuSe_{1-u}$ から成る複数の量子井戸層から成り、上記第1のクラッド層および上記第2のクラッド層と上記量子井戸層との間のバンドギャップの差は 0.25eV 以上であり、上記障壁層と上記量子井戸層との間のバンドギャップの差は 0.1eV 以上であることを特徴とする請求項18記載の半導体レーザー。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、半導体レーザーに関し、特に、青色ないし緑色で発光が可能な半導体レーザーに関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、光ディスクの記録密度の向上やレーザープリンタの解像度の向上を図るために、短波長での発光が可能な半導体レーザーに対する要求が高まってきたおり、その実現を目指して研究が活発に行われている。

【0003】このような短波長での発光が可能な半導体レーザーの作製に用いる材料としては、II-VI族化合物半導体が注目されている。そして、最近になって、II-VI族化合物半導体の一種であるZnSSe系化合物半導体をクラッド層の材料として用いて発振波長が $490 \sim 520\text{nm}$ の青色ないし緑色発光の半導体レーザーを実現することができたとの報告がなされている（例えば、日経エレクトロニクス、1992年4月27日号、no. 552、第90頁～第91頁）。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上述のように、ZnSSe系化合物半導体をクラッド層の材料として用いて青色ないし緑色で発光が可能な半導体レーザーは実現されているが、ZnMgSSe系化合物半導体をクラッド層の材料として用いて青色ないし緑色で発光が可能な半導体レーザーを実現することは困難であった。

【0005】従って、この発明の目的は、ZnMgSSe系化合物半導体をクラッド層の材料として用いた、青色ないし緑色で発光が可能でしかも低しきい値電流の半導体レーザーを提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】ZnSe活性層の上下を

10

20

30

40

50

n型ZnMgSSeクラッド層とp型ZnMgSSeクラッド層とで挟んだDH構造(Double Heterostructure)を有する半導体レーザーと、ZnCdSe活性層の上下をn型ZnMgSSe光導波層とp型ZnMgSSe光導波層とで挟み、さらにその上下をn型ZnMgSSeクラッド層とp型ZnMgSSeクラッド層とで挟んだSCH構造(Separated Confinement Heterostructure)を有する半導体レーザーとについてしきい値電流密度(J_{th})の活性層の厚さ依存性を計算により求めた結果を図13に示す。ただし、DH構造を有する半導体レーザーおよびSCH構造を有する半導体レーザーとも共振器長Lは500 μ m、内部損失 α_{in} は10 cm^{-1} とした。また、DH構造を有する半導体レーザーについては、ZnSe活性層とn型ZnMgSSeクラッド層およびp型ZnMgSSeクラッド層との間の屈折率差 Δn が0.13である場合と0.2である場合との二通りについて計算を行った。一方、SCH構造を有する半導体レーザーについては、ZnCdSe活性層とn型ZnMgSSe光導波層およびp型ZnMgSSe光導波層との間の屈折率差 Δn_g は0.1、ZnCdSe活性層とn型ZnMgSSeクラッド層およびp型ZnMgSSeクラッド層との間の屈折率差 Δn_c は0.2、n型ZnMgSSe光導波層およびp型ZnMgSSe光導波層のそれぞれの厚さ W_g は75nmとした。

【0007】図13からわかるように、DH構造を有する半導体レーザーにおいては、活性層の厚さが30~40nmのときにしきい値電流密度は極小値をとり、活性層の厚さがこの極小値を与える厚さの近傍にあるとき、すなわち活性層の厚さが15~60nmのときにはしきい値電流密度は十分に低くなる。一方、SCH構造を有する半導体レーザーにおいては、活性層の厚さが約10nmになるまでは、活性層の厚さの減少とともにしきい値電流密度は減少し、活性層の厚さが2~20nmのときにはしきい値電流密度は十分に低くなる。以上のことから、レーザー構造を形成するための材料としてIII-V族化合物半導体を用いた場合、DH構造を有する半導体レーザーにおいても、またSCH構造を有する半導体レーザーにおいても、しきい値電流密度を低くするためには、活性層の厚さを十分に小さくしてキャリアの注入効率を高くすることの重要性を理解することができる。

【0008】このように活性層の厚さを小さくしてキャリアの注入効率を高くすることの重要性は、以下の実験結果からも明らかである。すなわち、図14はZnSSe活性層の上下をn型ZnMgSSeクラッド層とp型ZnMgSSeクラッド層とで挟んだDH構造を有する半導体レーザーにおける厚さ70nmのZnSSe活性層から得られたフォトルミネッセンス(PL)強度の減衰曲線を示す。この図14に示す減衰曲線の傾きよりPL強度の減衰の時定数を求めると、約50psecとな

る。ZnSe結晶の発光再結合寿命は数nsecと予想されるので、この約50psecという時定数での非常に速いPL強度の減衰は非発光再結合過程に支配されていると考えられる。しかしながら、同一の試料を用いて、光励起によりレーザー発振を実現することもできる。これは、試料中の非発光中心の数がPL測定における弱励起条件の励起光により励起されるキャリアの数と同程度であるため、強励起条件の光励起時にはトラップが飽和してレーザー発振が起こるのに十分なキャリアが蓄積されるためであると説明される。このようなトラップを含む結晶を用いて作製される半導体レーザーにおいては、通常にも増して効率良くキャリアを活性層に注入することが重要になってくる。この点からも、III-V族化合物半導体を用いた半導体レーザーのしきい値電流密度を低くするためには、活性層の厚さを小さくすることが有効であることがわかる。

【0009】さらに、本発明者の知見によれば、SCH構造を有する半導体レーザーにおいて活性層を単一量子井戸構造または二重量子井戸構造とした場合には、活性層を三重量子井戸構造とした場合に比べて、しきい値電流密度はほぼ半減する(ただし、量子井戸層の厚さは同一とする)。従って、SCH構造を有する半導体レーザーのしきい値電流密度を低くするためには、活性層を単一量子井戸構造または二重量子井戸構造とするのが有効であることがわかる。

【0010】この発明は、本発明者の上記知見および検討に基づき、さらに種々の検討を加えた結果案出されたものである。

【0011】すなわち、上記目的を達成するため、この発明の第1の発明による半導体レーザーは、化合物半導体基板(1)上に積層された第1導電型の第1のクラッド層(3)と、第1のクラッド層(3)上に積層された第1の光導波層(4)と、第1の光導波層(4)上に積層された活性層(5)と、活性層(5)上に積層された第2の光導波層(6)と、第2の光導波層(6)上に積層された第2導電型の第2のクラッド層(7)とを有し、第1のクラッド層(3)、第1の光導波層(4)、活性層(5)、第2の光導波層(6)および第2のクラッド層(7)は $\text{Zn}_{1-x-y}\text{Cd}_x\text{Mg}_y\text{S}_a\text{Te}_b\text{Se}_{1-a-b}$ (ただし、 $0 \leq x < 1$ 、 $0 \leq y < 1$ 、 $0 \leq a < 1$ 、 $0 \leq b < 1$)系化合物半導体から成るとともに、活性層(5)は単一の量子井戸層(5b)を有し、かつ量子井戸層(5b)の厚さは2~20nmであることを特徴とするものである。

【0012】この発明の第2の発明による半導体レーザーは、この発明の第1の発明による半導体レーザーにおいて、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)はZnMgSSe系化合物半導体から成り、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)はZnSSe系化合物半導体またはZnSe系化合物半導体から

成り、活性層(5)は $ZnCdSe$ 系化合物半導体から成る量子井戸層から成ることを特徴とするものである。

【0013】この発明の第3の発明による半導体レーザーは、この発明の第1の発明による半導体レーザーにおいて、化合物半導体基板(1)は $GaAs$ 基板であり、第1のクラッド層(3)は $ZnSe$ から成るバッファ層(2)を介して $GaAs$ 基板上に積層され、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)は $0 < p \leq 0.2$ 、 $0 < q \leq 0.3$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)は $0 < u \leq 0.1$ の $ZnSuSe_{1-u}$ または $ZnSe$ から成り、活性層(5)は $0 < z \leq 0.3$ の $Zn_{1-z}Cd_zSe$ から成る量子井戸層から成り、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)と量子井戸層との間のバンドギャップの差は $0.25 eV$ 以上であり、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)と量子井戸層との間のバンドギャップの差は $0.1 eV$ 以上であることを特徴とするものである。

【0014】この発明の第4の発明による半導体レーザーは、この発明の第1の発明による半導体レーザーにおいて、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)は $ZnMgSSe$ 系化合物半導体から成り、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)は $ZnMgSSe$ 系化合物半導体から成り、活性層(5)は $ZnSe$ 系化合物半導体または $ZnSSe$ 系化合物半導体から成る量子井戸層から成ることを特徴とするものである。

【0015】この発明の第5の発明による半導体レーザーは、この発明の第1の発明による半導体レーザーにおいて、化合物半導体基板(1)は $GaAs$ 基板であり、第1のクラッド層(3)は $ZnSe$ から成るバッファ層(2)を介して $GaAs$ 基板上に積層され、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)は $0.1 \leq p \leq 0.4$ 、 $0.15 \leq q \leq 0.45$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)は $0.05 \leq p \leq 0.15$ 、 $0.1 \leq q \leq 0.2$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、活性層(5)は $ZnSe$ から成る量子井戸層から成り、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)と量子井戸層との間のバンドギャップの差は $0.25 eV$ 以上であり、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)と量子井戸層との間のバンドギャップの差は $0.1 eV$ 以上であることを特徴とするものである。

【0016】この発明の第6の発明による半導体レーザーは、この発明の第1の発明による半導体レーザーにおいて、化合物半導体基板(1)は $GaAs$ 基板であり、第1のクラッド層(3)は $ZnSe$ から成るバッファ層(2)を介して $GaAs$ 基板上に積層され、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)は $0.15 \leq p \leq 0.5$ 、 $0.2 \leq q \leq 0.55$ の $Zn_{1-p}Mg_p$

S_qSe_{1-q} から成り、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)は $0.1 \leq p \leq 0.2$ 、 $0.15 \leq q \leq 0.25$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、活性層(5)は $0.01 \leq u \leq 0.1$ の $ZnSuSe_{1-u}$ から成る量子井戸層から成り、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)と量子井戸層との間のバンドギャップの差は $0.25 eV$ 以上であり、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)と量子井戸層との間のバンドギャップの差は $0.1 eV$ 以上であることを特徴とするものである。

【0017】この発明の第7の発明による半導体レーザーは、化合物半導体基板(1)上に積層された第1導電型の第1のクラッド層(3)と、第1のクラッド層(3)上に積層された第1の光導波層(4)と、第1の光導波層(4)上に積層された活性層(5)と、活性層(5)上に積層された第2の光導波層(6)と、第2の光導波層(6)上に積層された第2導電型の第2のクラッド層(7)とを有し、第1のクラッド層(3)、第1の光導波層(4)、活性層(5)、第2の光導波層(6)および第2のクラッド層(7)は $Zn_{1-x-y}Cd_xMg_ySaTebSe_{1-a-b}$ (ただし、 $0 \leq x < 1$ 、 $0 \leq y < 1$ 、 $0 \leq a < 1$ 、 $0 \leq b < 1$)系化合物半導体から成るとともに、活性層(5)は二つの量子井戸層(5a、5c)を有し、かつ二つの量子井戸層(5a、5c)の合計の厚さは $2 \sim 20 nm$ であることを特徴とするものである。

【0018】この発明の第8の発明による半導体レーザーは、この発明の第7の発明による半導体レーザーにおいて、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)は $ZnMgSSe$ 系化合物半導体から成り、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)は $ZnSe$ 系化合物半導体または $ZnSSe$ 系化合物半導体から成り、活性層(5)は $ZnCdSe$ 系化合物半導体から成る第1の量子井戸層(5a)、第1の量子井戸層(5a)上に積層された $ZnSe$ 系化合物半導体から成る障壁層(5b)および障壁層(5b)上に積層された $ZnCdSe$ 系化合物半導体から成る第2の量子井戸層(5c)から成ることを特徴とするものである。

【0019】この発明の第9の発明による半導体レーザーは、この発明の第7の発明による半導体レーザーにおいて、化合物半導体基板(1)は $GaAs$ 基板であり、第1のクラッド層(3)は $ZnSe$ から成るバッファ層(2)を介して $GaAs$ 基板上に積層され、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)は $0 < p \leq 0.2$ 、 $0 < q \leq 0.3$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)は $0 < u \leq 0.1$ の $ZnSuSe_{1-u}$ または $ZnSe$ から成り、活性層(5)は $0 < z \leq 0.3$ の $Zn_{1-z}Cd_zSe$ から成る第1の量子井戸層(5a)、第1の量子井戸層(5a)上に積層された $ZnSe$ から成

11

る障壁層(5b)および障壁層(5b)上に積層された $0 < z \leq 0.3$ の $Zn_{1-x}Cd_xSe$ から成る第2の量子井戸層(5c)から成り、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)と第1の量子井戸層(5a)および第2の量子井戸層(5c)との間のバンドギャップの差は 0.25 eV 以上であり、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)と第1の量子井戸層(5a)および第2の量子井戸層(5c)との間のバンドギャップの差は 0.1 eV 以上であることを特徴とするものである。

【0020】この発明の第10の発明による半導体レーザーは、この発明の第7の発明による半導体レーザーにおいて、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)は $ZnMgSSe$ 系化合物半導体から成り、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)は $ZnMgSSe$ 系化合物半導体から成り、活性層(5)は $ZnSe$ 系化合物半導体または $ZnSSe$ 系化合物半導体から成る第1の量子井戸層(5a)、第1の量子井戸層(5a)上に積層された $ZnMgSSe$ 系化合物半導体から成る障壁層(5b)および障壁層(5b)上に積層された $ZnSe$ 系化合物半導体または $ZnSSe$ 系化合物半導体から成る第2の量子井戸層(5c)から成ることを特徴とするものである。

【0021】この発明の第11の発明による半導体レーザーは、この発明の第7の発明による半導体レーザーにおいて、化合物半導体基板(1)は $GaAs$ 基板であり、第1のクラッド層(3)は $ZnSe$ から成るバッファ層(2)を介して $GaAs$ 基板上に積層され、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)は $0.1 \leq p \leq 0.4$ 、 $0.15 \leq q \leq 0.45$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)は $0.05 \leq p \leq 0.15$ 、 $0.1 \leq q \leq 0.2$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、活性層(5)は $ZnSe$ から成る第1の量子井戸層(5a)、第1の量子井戸層(5a)上に積層された $0.05 \leq p \leq 0.15$ 、 $0.1 \leq q \leq 0.2$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成る障壁層(5b)および障壁層(5b)上に積層された $ZnSe$ から成る第2の量子井戸層(5c)から成り、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)と第1の量子井戸層(5a)および第2の量子井戸層(5c)との間のバンドギャップの差は 0.25 eV 以上であり、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)と第1の量子井戸層(5a)および第2の量子井戸層(5c)との間のバンドギャップの差は 0.1 eV 以上であることを特徴とするものである。

【0022】この発明の第12の発明による半導体レーザーは、この発明の第7の発明による半導体レーザーにおいて、化合物半導体基板(1)は $GaAs$ 基板であり、第1のクラッド層(3)は $ZnSe$ から成るバッ

12

ァ層(2)を介して $GaAs$ 基板上に積層され、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)は $0.15 \leq p \leq 0.5$ 、 $0.2 \leq q \leq 0.55$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)は $0.1 \leq p \leq 0.2$ 、 $0.15 \leq q \leq 0.25$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、活性層(5)は $0.01 \leq u \leq 0.1$ の $ZnSuSe_{1-u}$ から成る第1の量子井戸層(5a)、第1の量子井戸層(5a)上に積層された $0.1 \leq p \leq 0.2$ 、 $0.15 \leq q \leq 0.25$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成る障壁層(5b)および障壁層(5b)上に積層された $0.01 \leq u \leq 0.1$ の $ZnSuSe_{1-u}$ から成る第2の量子井戸層(5c)から成り、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)と第1の量子井戸層(5a)および第2の量子井戸層(5c)との間のバンドギャップの差は 0.25 eV 以上であり、第1の光導波層(4)および第2の光導波層(6)と第1の量子井戸層(5a)および第2の量子井戸層(5c)との間のバンドギャップの差は 0.1 eV 以上であることを特徴とするものである。

【0023】この発明の第13の発明による半導体レーザーは、化合物半導体基板(1)上に積層された第1導電型の第1のクラッド層(3)と、第1のクラッド層(3)上に積層された活性層(5)と、活性層(5)上に積層された第2導電型の第2のクラッド層(7)とを有し、第1のクラッド層(3)、活性層(5)および第2のクラッド層(7)は $Zn_{1-x-y}Cd_xMg_ySaTe_bSe_{1-a-b}$ (ただし、 $0 \leq x < 1$ 、 $0 \leq y < 1$ 、 $0 \leq a < 1$ 、 $0 \leq b < 1$)系化合物半導体から成るとともに、活性層(5)の厚さは $15 \sim 60\text{ nm}$ であることを特徴とするものである。

【0024】この発明の第14の発明による半導体レーザーは、この発明の第13の発明による半導体レーザーにおいて、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)は $ZnMgSSe$ 系化合物半導体から成り、活性層(5)は $ZnSSc$ 系化合物半導体、 $ZnSc$ 系化合物半導体または $ZnCdSe$ 系化合物半導体から成ることを特徴とするものである。

【0025】この発明の第15の発明による半導体レーザーは、この発明の第13の発明による半導体レーザーにおいて、化合物半導体基板(1)は $GaAs$ 基板であり、第1のクラッド層(3)は $ZnSe$ から成るバッファ層(2)を介して $GaAs$ 基板上に積層され、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)は $0.1 \leq p \leq 0.4$ 、 $0.15 \leq q \leq 0.45$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、活性層(5)は $ZnSe$ から成り、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)と活性層(5)との間のバンドギャップの差は 0.25 eV 以上であることを特徴とするものである。

【0026】この発明の第16の発明による半導体レ

10

20

30

40

50

13

ザーは、この発明の第13の発明による半導体レーザーにおいて、化合物半導体基板(1)はGaAs基板であり、第1のクラッド層(3)はZnSeから成るバッファ層(2)を介してGaAs基板上に積層され、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)は $0.15 \leq p \leq 0.5$ 、 $0.2 \leq q \leq 0.55$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、活性層(5)は $0 < u \leq 0.1$ の $ZnSuSe_{1-u}$ から成り、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)と活性層(5)との間のバンドギャップの差は 0.25 eV 以上であることを特徴とするものである。

【0027】この発明の第17の発明による半導体レーザーは、この発明の第13の発明による半導体レーザーにおいて、化合物半導体基板(1)はGaAs基板であり、第1のクラッド層(3)はZnSeから成るバッファ層(2)を介してGaAs基板上に積層され、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)は $0 < p \leq 0.2$ 、 $0 < q \leq 0.3$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、活性層(5)は $0 < z \leq 0.3$ の $Zn_{1-z}Cd_zSe$ から成り、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)と活性層(5)との間のバンドギャップの差は 0.25 eV 以上であることを特徴とするものである。

【0028】この発明の第18の発明による半導体レーザーは、化合物半導体基板(1)上に積層された第1導電型の第1のクラッド層(3)と、第1のクラッド層(3)上に積層された活性層(5)と、活性層(5)上に積層された第2導電型の第2のクラッド層(7)とを有し、第1のクラッド層(3)、活性層(5)および第2のクラッド層(7)は $Zn_{1-x-y}Cd_xMg_ySaTebSe_{1-a-b}$ (ただし、 $0 \leq x < 1$ 、 $0 \leq y < 1$ 、 $0 \leq a < 1$ 、 $0 \leq b < 1$)系化合物半導体から成るとともに、活性層(5)は複数の量子井戸層を有し、かつ複数の量子井戸層の合計の厚さは $10 \sim 35\text{ nm}$ であることを特徴とするものである。

【0029】この発明の第19の発明による半導体レーザーは、この発明の第18の発明による半導体レーザーにおいて、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)はZnMgSSe系化合物半導体から成り、活性層(5)は交互に積層されたZnSSe系化合物半導体またはZnMgSSe系化合物半導体から成る複数の障壁層およびZnSe系化合物半導体から成る複数の量子井戸層から成ることを特徴とするものである。

【0030】この発明の第20の発明による半導体レーザーは、この発明の第18の発明による半導体レーザーにおいて、化合物半導体基板(1)はGaAs基板であり、第1のクラッド層(3)はZnSeから成るバッファ層(2)を介してGaAs基板上に積層され、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)は $0.1 \leq p \leq 0.4$ 、 $0.15 \leq q \leq 0.45$ の $Zn_{1-p}M$

14

$g_pS_qSe_{1-q}$ から成り、活性層(5)は交互に積層された $0.05 \leq p \leq 0.4$ 、 $0.1 \leq q \leq 0.45$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成る複数の障壁層およびZnSeから成る複数の量子井戸層から成り、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)と量子井戸層との間のバンドギャップの差は 0.25 eV 以上であり、障壁層と量子井戸層との間のバンドギャップの差は 0.1 eV 以上であることを特徴とするものである。

10 【0031】この発明の第21の発明による半導体レーザーは、この発明の第18の発明による半導体レーザーにおいて、化合物半導体基板(1)はGaAs基板であり、第1のクラッド層(3)はZnSeから成るバッファ層(2)を介してGaAs基板上に積層され、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)は $0.15 \leq p \leq 0.5$ 、 $0.2 \leq q \leq 0.55$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成り、活性層(5)は交互に積層された $0.1 \leq p \leq 0.5$ 、 $0.15 \leq q \leq 0.55$ の $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ から成る複数の障壁層および $0 < u \leq 0.1$ の $ZnSuSe_{1-u}$ から成る複数の量子井戸層から成り、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)と量子井戸層との間のバンドギャップの差は 0.25 eV 以上であり、障壁層と量子井戸層との間のバンドギャップの差は 0.1 eV 以上であることを特徴とするものである。

20 【0032】

【作用】第1の発明による半導体レーザーによれば、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)を $Zn_{1-x-y}Cd_xMg_ySaTebSe_{1-a-b}$ 系化合物半導体において $x=0$ 、 $b=0$ としたもの、すなわちZnMgSSe系化合物半導体で形成することにより、ZnMgSSe系化合物半導体をクラッド層の材料として用いた、青色ないし緑色で発光が可能なSCH構造を有する半導体レーザーを実現することができる。しかも、活性層(5)は単一の量子井戸層(5b)を有し、かつ量子井戸層(5b)の厚さは $2 \sim 20\text{ nm}$ であることにより、この半導体レーザーは低しきい値電流である。

30 【0033】第2の発明～第6の発明による半導体レーザーによれば、ZnMgSSe系化合物半導体をクラッド層の材料として用いた、緑色で発光が可能でしかも低しきい値電流のSCH構造を有する半導体レーザーを実現することができる。

40 【0034】第7の発明による半導体レーザーによれば、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)を $Zn_{1-x-y}Cd_xMg_ySaTebSe_{1-a-b}$ 系化合物半導体において $x=0$ 、 $b=0$ としたもの、すなわちZnMgSSe系化合物半導体により形成することにより、ZnMgSSe系化合物半導体をクラッド層の材料として用いた、青色ないし緑色で発光が可能なSCH構造を有する半導体レーザーを実現することができ

50

る。しかも、活性層(5)は二つの量子井戸層(5b、5d)を有し、かつ二つの量子井戸層(5b、5d)の合計の厚さは2~20nmであることにより、この半導体レーザーは低しきい値電流である。

【0035】第8の発明~第12の発明による半導体レーザーによれば、ZnMgSSe系化合物半導体をクラッド層の材料として用いた、緑色で発光が可能でしかも低しきい値電流のSCH構造を有する半導体レーザーを実現することができる。

【0036】第13の発明による半導体レーザーによれば、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)を $Zn_{1-x-y}Cd_xMg_ySaTebSe_{1-a-b}$ 系化合物半導体において $x=0$ 、 $b=0$ としたもの、すなわちZnMgSSe系化合物半導体で形成することにより、ZnMgSSe系化合物半導体をクラッド層の材料として用いた、青色ないし緑色で発光が可能なDH構造を有する半導体レーザーを実現することができる。しかも、活性層(5)の厚さは15~60nmであることにより、この半導体レーザーは低しきい値電流である。

【0037】第14の発明~第17の発明による半導体レーザーによれば、ZnMgSSe系化合物半導体をクラッド層の材料として用いた、青色ないし緑色で発光が可能でしかも低しきい値電流のDH構造を有する半導体レーザーを実現することができる。

【0038】第18の発明による半導体レーザーによれば、第1のクラッド層(3)および第2のクラッド層(7)を $Zn_{1-x-y}Cd_xMg_ySaTebSe_{1-a-b}$ 系化合物半導体において $x=0$ 、 $b=0$ としたもの、すなわちZnMgSSe系化合物半導体で形成することにより、ZnMgSSe系化合物半導体をクラッド層の材料として用いた、青色ないし緑色で発光が可能なDH構造を有する半導体レーザーを実現することができる。しかも、活性層(5)は複数の量子井戸層を有し、かつ複数の量子井戸層の合計の厚さは10~35nmであることにより、この半導体レーザーは低しきい値電流である。

【0039】第19の発明~第21の発明による半導体レーザーによれば、ZnMgSSe系化合物半導体をクラッド層の材料として用いた、青色ないし緑色で発光が可能でしかも低しきい値電流のDH構造を有する半導体レーザーを実現することができる。

【0040】

【実施例】以下、この発明の実施例について図面を参照しながら説明する。なお、実施例の全図において、同一または対応する部分には同一の符号を付す。

【0041】図1はこの発明の第1実施例による半導体レーザーを示す。この第1実施例による半導体レーザーはSCH構造を有するものである。

【0042】図1に示すように、この第1実施例による半導体レーザーにおいては、例えばn型不純物としてS

iがドーパされた(100)面方位のn型GaAs基板1上に、例えばn型不純物としてClがドーパされたn型ZnSeバッファ層2、例えばn型不純物としてClがドーパされたn型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3、例えばn型不純物としてClがドーパされたn型ZnSe光導波層4、活性層5、例えばp型不純物としてNがドーパされたp型ZnSe光導波層6、例えばp型不純物としてNがドーパされたp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7および例えばp型不純物としてNがドーパされたp型ZnSeキャップ層8が順次積層されている。

【0043】さらに、p型ZnSeキャップ層8上には、ストライプ状の開口9aを有する例えばポリイミド、 SiO_x 膜、 SiN_x 膜などから成る絶縁層9が形成されている。そして、この開口9aを通じてp型ZnSeキャップ層8に例えばAu/Pd電極やAu電極のようなp側電極10がコンタクトしている。一方、n型GaAs基板1の裏面には、例えばIn電極のようなn側電極11がコンタクトしている。

【0044】この第1実施例においては、活性層5は例えば厚さが6nmのi型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層から成る単一量子井戸構造を有する。この場合、n型ZnSe光導波層4およびp型ZnSe光導波層6が障壁層を構成する。

【0045】n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7のMg組成比pは例えば0.07、またS組成比qは例えば0.14であり、そのときのバンドギャップ E_g は約2.87eVである。これらのMg組成比p=0.07およびS組成比q=0.14を有するn型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7はGaAsと格子整合する。また、n型ZnSe光導波層4およびp型ZnSe光導波層6のバンドギャップ E_g は約2.72eVである。さらに、活性層5を構成するi型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層のCd組成比zは例えば0.14であり、そのときのバンドギャップ E_g は約2.54eVである。この場合、n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7と活性層5を構成するi型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層との間のバンドギャップ E_g の差 ΔE_g は0.33eVであり、n型ZnSe光導波層4およびp型ZnSe光導波層6と活性層5を構成するi型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層との間のバンドギャップ E_g の差 ΔE_g は0.18eVである。n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3、n型ZnSe光導波層4、活性層5、p型ZnSe光導波層6およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7のエネルギーバンド図をp=0.07、q=0.14、z=0.14のときのこれらの層のバンドギャップ E_g の値とともに図2に示す。な

お、図2において、 E_c は伝導帯の下端のエネルギーである（以下同様）。

【0046】 n 型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3および p 型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7の厚さは好適にはそれぞれ $0.5\mu m$ 以上選ばれ、具体的には n 型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3の厚さは例えば $1\mu m$ 、 p 型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7の厚さは例えば $0.6\mu m$ に選ばれる。また、 n 型 $ZnSe$ 光導波層4および p 型 $ZnSe$ 光導波層6の厚さは好適にはそれぞれ $20\sim 100nm$ の範囲に選ばれ、具体的には例えばそれぞれ $50nm$ に選ばれる。さらに、 p 型 $ZnSe$ キャップ層8の厚さは好適には $0.5\mu m$ 以上に選ばれる。

【0047】また、 n 型 $ZnSe$ バッファ層2の厚さは、 $ZnSe$ と $GaAs$ との間にはわずかではあるが格子不整合が存在することから、この格子不整合に起因してこの n 型 $ZnSe$ バッファ層2及びその上の各層のエピタキシャル成長時に転位が発生するのを防止するために、 $ZnSe$ の臨界膜厚（ $\sim 100nm$ ）よりも十分に小さく選ばれ、具体的には例えば $2nm$ に選ばれる。

【0048】次に、上述のように構成されたこの第1実施例による半導体レーザーの製造方法について説明する。

【0049】この第1実施例による半導体レーザーを製造するには、まず、 n 型 $GaAs$ 基板1上に、例えば分子線エピタキシー（MBE）法により、 n 型 $ZnSe$ バッファ層2、 n 型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3、 n 型 $ZnSe$ 光導波層4、 i 型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層から成る活性層5、 p 型 $ZnSe$ 光導波層6、 p 型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7および p 型 $ZnSe$ キャップ層8を順次エピタキシャル成長させる。

【0050】上述のMBE法によるエピタキシャル成長においては、例えば、 Zn 原料としては純度 $99.99\sim 99.999\%$ の Zn を用い、 Mg 原料としては純度 $99.9\sim 99.99\%$ の Mg を用い、 S 原料としては $99.9999\sim 99.99999\%$ の ZnS を用い、 Se 原料としては純度 $99.9999\sim 99.99999\%$ の Se を用いる。また、 n 型 $ZnSe$ バッファ層2、 n 型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3および n 型 $ZnSe$ 光導波層4の n 型不純物としての C のドーピングは例えば純度 $99.9999\sim 99.99999\%$ の $ZnCl_2$ をドーパントとして用いて行い、 p 型 $ZnSe$ 光導波層6、 p 型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7および p 型 $ZnSe$ キャップ層8の p 型不純物としての N のドーピングは例えば電子サイクロトロン共鳴（ECR）により発生された N_2 プラズマを照射することにより行う。

【0051】次に、 p 型 $ZnSe$ キャップ層8の全面に絶縁層9を形成した後、この絶縁層9の所定部分を除去して開口9aを形成する。次に、全面に Au/Pd 膜や Au 膜を真空蒸着して Au/Pd 電極や Au 電極のよう

な p 側電極10を形成し、その後必要に応じて熱処理を行って、この p 側電極10を p 型 $ZnSe$ キャップ層8にオーミックコンタクトさせる。一方、 n 型 $GaAs$ 基板1の裏面には I n電極のような n 側電極11を形成する。

【0052】この後、以上のようにしてレーザー構造が形成された n 型 $GaAs$ 基板1を例えばバー状に劈開して共振器端面を形成し、このバーを劈開してチップ化し、パッケージングを行う。

【0053】この第1実施例による半導体レーザーの光出力-電流特性の測定結果を図3に示す。この測定に用いた半導体レーザーの単一量子井戸（SQW）構造の活性層5を構成する i 型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層の厚さは $6nm$ である。図3には、比較のために、活性層が厚さ $6nm$ の i 型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層と厚さ $4nm$ の i 型 $ZnSe$ 障壁層とを交互に積層した三重量子井戸（TQW）構造となっていることを除いてこの第1実施例による半導体レーザーと同様な構造を有する半導体レーザーの光出力-電流特性の測定結果も示してある。後者の場合には、活性層における三つの量子井戸層の合計の厚さは $6nm \times 3 = 18nm$ である。

【0054】図3より明らかなように、単一量子井戸構造の活性層5を構成する量子井戸層の厚さが $6nm$ であるときのこの第1実施例による半導体レーザーのしきい値電流は、三重量子井戸構造の活性層における三つの量子井戸層の合計の厚さが $18nm$ である半導体レーザーのしきい値電流と比較して、ほぼ $1/2$ に低減されている。

【0055】また、この第1実施例による半導体レーザーの発振波長を測定したところ、室温において約 $498nm$ であった。

【0056】以上のように、この第1実施例によれば、 n 型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3、 n 型 $ZnSe$ 光導波層4、単一量子井戸構造の活性層5、 p 型 $ZnSe$ 光導波層6および p 型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7によりレーザー構造を形成し、しかも活性層5を構成する i 型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層の厚さを例えば $6nm$ と小さく選んでいることにより、 $ZnMgSSe$ 系化合物半導体をクラッド層の材料として用いた、室温において波長約 $498nm$ で発振可能な緑色発光でしかも低しきい値電流密度のSCH構造を有する半導体レーザーを実現することができる。また、この半導体レーザーは、低しきい値電流密度であることにより発熱を抑えることができ、寿命特性の向上を図ることができる。さらに、この半導体レーザーは低しきい値電流であることにより低消費電力である。

【0057】次に、この発明の第2実施例による半導体レーザーについて説明する。

【0058】この第2実施例による半導体レーザーは、活性層5が図4に示すように二重量子井戸構造を有する

ことを除いて、第1実施例による半導体レーザーと同様な構造を有する。図4に示すように、この第2実施例による半導体レーザーにおいては、活性層5は、i型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層5a、i型 $ZnSe$ 障壁層5bおよびi型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層5cが順次積層された二重量子井戸構造を有する。ここで、i型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層5aおよびi型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層5cの厚さはそれぞれ例えば6nmであり、i型 $ZnSe$ 障壁層5bの厚さは例えば4nmである。この場合、活性層5における二つのi型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層5aおよびi型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層5cの合計の厚さは $6nm \times 2 = 12nm$ である。この活性層5のエネルギーバンド図を図5に示す。

【0059】この第2実施例による半導体レーザーの製造方法は、第1実施例による半導体レーザーの製造方法と同様であるので説明を省略する。

【0060】この第2実施例によっても、第1実施例による半導体レーザーと同様に、 $ZnMgSSe$ 系化合物半導体をクラッド層の材料として用いた、室温において緑色発光が可能でしかも低しき電流密度のSCH構造を有する半導体レーザーを実現することができる。

【0061】次に、この発明の第3実施例による半導体レーザーについて説明する。

【0062】図6はこの第3実施例による半導体レーザーを示す。この第3実施例による半導体レーザーはDH構造を有するものである。

【0063】図6に示すように、この第3実施例による半導体レーザーにおいては、例えばn型不純物としてSiがドーパされた(100)面方位のn型GaAs基板1上に、例えばn型不純物としてClがドーパされたn型 $ZnSe$ バッファ層2、例えばn型不純物としてClがドーパされたn型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3、活性層5、例えばp型不純物としてNがドーパされたp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7および例えばp型不純物としてNがドーパされたp型 $ZnSe$ キャップ層8が順次積層されている。

【0064】p型 $ZnSe$ キャップ層8上に絶縁層9が形成され、この絶縁層9に形成されたストライプ状の開孔9aを通じてp型 $ZnSe$ キャップ層8にp側電極10がコンタクトしていることやn型GaAs基板1の裏面にn側電極11がコンタクトしていることは、第1実施例による半導体レーザーと同様である。

【0065】この場合、活性層5は、単層の $ZnSe$ 層、 $ZnSuSe_{1-u}$ 層または $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 層により形成される。また、この活性層5の厚さは15~60nmの範囲に選ばれ、好ましくは20~40nmの範囲に選ばれる。

【0066】活性層5を $ZnSe$ 層により形成する場合、n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およ

びp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7のMg組成比pは例えば0.23、またS組成比qは例えば0.28である。このときの活性層5のバンドギャップ E_g は約2.72eV、n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7のバンドギャップ E_g は約3.05eVである。この場合、n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7と活性層5との間のバンドギャップ E_g の差 ΔE_g は0.33eVである。

【0067】また、活性層5を $u=0.06$ の $ZnSuSe_{1-u}$ 層により形成する場合、n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7のMg組成比pは例えば0.26、またS組成比qは例えば0.31である。このときの活性層5のバンドギャップ E_g は約2.76eV、n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7のバンドギャップ E_g は約3.10eVである。この場合、n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7と活性層5との間のバンドギャップ E_g の差 ΔE_g は0.34eVである。

【0068】さらに、活性層5を $z=0.14$ の $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 層により形成する場合、n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7のMg組成比pは例えば0.07、またS組成比qは例えば0.14である。このときの活性層5のバンドギャップ E_g は約2.54eV、n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7のバンドギャップ E_g は約2.87eVである。この場合、n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7と活性層5との間のバンドギャップ E_g の差 ΔE_g は0.33eVである。

【0069】n型 $ZnSe$ バッファ層2、n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3、活性層5、p型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7およびp型 $ZnSe$ キャップ層8の厚さは第1実施例による半導体レーザーと同様の値に選ぶことができる。

【0070】この第3実施例による半導体レーザーの製造方法は、第1実施例による半導体レーザーの製造方法と同様であるので説明を省略する。

【0071】この第3実施例によれば、単層の $ZnSe$ 層、 $ZnSuSe_{1-u}$ 層または $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 層により形成される活性層5の厚さが15~60nmと十分に小さく選ばれていることにより、第1実施例による半導体レーザーと同様に、 $ZnMgSSe$ 系化合物半導体をクラッド層の材料として用いた、室温において青色な

10

20

30

40

50

いし緑色で発光が可能な低しきい値電流密度のDH構造を有する半導体レーザーを実現することができる。

【0072】次に、この発明の第4実施例による半導体レーザーについて説明する。

【0073】この第4実施例による半導体レーザーにおいては、活性層5が $Zn_{1-s}Mg_sStSe_{1-t}$ から成る複数の障壁層と $ZnSe$ または $ZnSuSe_{1-u}$ から成る複数の量子井戸層とを交互に積層した多重量子井戸(MQW)構造を有することを除いて、第3実施例による半導体レーザーと同様な構造を有する。この場合、この活性層5における複数の量子井戸層の合計の厚さは10~35nmの範囲に選ばれる。

【0074】活性層5における障壁層を $Zn_{1-s}Mg_sStSe_{1-t}$ により形成し、量子井戸層を $ZnSe$ により形成する場合、障壁層を形成する $Zn_{1-s}Mg_sStSe_{1-t}$ のMg組成比sおよびS組成比tは例えばそれぞれ0.1および0.16に選ばれるか、例えばそれぞれ0.23および0.28に選ばれる。また、この場合のn型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層7のMg組成比pおよびS組成比qは例えばそれぞれ0.23および0.28に選ばれる。このときの活性層5における $ZnSe$ 量子井戸層のバンドギャップ E_g は約2.72eV、n型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層7のバンドギャップ E_g は約3.05eVである。この場合、n型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層7と活性層5における $ZnSe$ 量子井戸層との間のバンドギャップ E_g の差 ΔE_g は0.33eVである。

【0075】また、活性層5における障壁層を $Zn_{1-s}Mg_sStSe_{1-t}$ により形成し、量子井戸層を $ZnSuSe_{1-u}$ により形成する場合、障壁層を形成する $Zn_{1-s}Mg_sStSe_{1-t}$ のMg組成比sおよびS組成比tは例えばそれぞれ0.13および0.19に選ばれるか、例えばそれぞれ0.26および0.31に選ばれる。また、この場合のn型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層7のMg組成比pおよびS組成比qは例えばそれぞれ0.26および0.31に選ばれる。このときの活性層5における $ZnStSe_{1-t}$ 量子井戸層のバンドギャップ E_g は約2.76eV、n型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層7のバンドギャップ E_g は約3.10eVである。この場合、n型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層7と活性層5における $ZnStSe_{1-t}$ 量子井戸層との間のバンドギャップ E_g の差 ΔE_g は0.34eVである。

【0076】この第4実施例による半導体レーザーの製

造方法は、第1実施例による半導体レーザーの製造方法と同様であるので説明を省略する。

【0077】この第4実施例によっても、第1実施例による半導体レーザーと同様に、 $ZnMgSSe$ 系化合物半導体をクラッド層の材料として用いた、室温において青色ないし緑色で発光が可能な低しきい値電流密度のDH構造を有する半導体レーザーを実現することができる。

【0078】次に、この発明の第5実施例による半導体レーザーについて説明する。

【0079】図7に示すように、この第5実施例による半導体レーザーにおいては、例えばn型不純物としてSiがドーパされた(100)面方位のn型GaAs基板1上に、例えばn型不純物としてClがドーパされたn型 $ZnSe$ バッファ層2、例えばn型不純物としてClがドーパされたn型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層3、例えばn型不純物としてClがドーパされたn型 $ZnSe$ 光導波層4、活性層5、例えばp型不純物としてNがドーパされたp型 $ZnSe$ 光導波層6、例えばp型不純物としてNがドーパされたp型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層7、例えばp型不純物としてNがドーパされたp型 $ZnSvSe_{1-v}$ 層12および例えばp型不純物としてNがドーパされたp型 $ZnSe$ キャップ層8が順次積層されている。ここで、p型 $ZnSvSe_{1-v}$ 層12は、p型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層7と格子整合をとるための層として用いられるとともに、補助的なp型クラッド層として用いられる。p型 $Zn_{1-p}Mg_pSqSe_{1-q}$ クラッド層7との格子整合をとるために、このp型 $ZnSvSe_{1-v}$ 層12のS組成比vは好適には0.06に選ばれる。

【0080】この場合、p型 $ZnSe$ キャップ層8およびp型 $ZnSvSe_{1-v}$ 層12の上層部はストライプ形状にパターンニングされている。このストライプ部の幅は例えば5 μm である。

【0081】さらに、上述のストライプ部以外の部分のp型 $ZnSvSe_{1-v}$ 層12上には、例えば厚さが300nmのアルミナ(Al_2O_3)膜から成る絶縁層9が形成されている。そして、ストライプ形状のp型 $ZnSe$ キャップ層8および絶縁層9上にp側電極10が形成されている。このp側電極10がp型 $ZnSe$ キャップ層8とコンタクトした部分が電流の通路となる。ここで、このp側電極10としては、例えば、厚さが10nmのPd膜と厚さが100nmのPt膜と厚さが300nmのAu膜とを順次積層したAu/Pt/Pd電極が用いられる。一方、n型GaAs基板1の裏面には、例えばIn電極のようなn側電極11がコンタクトしている。

【0082】この第5実施例による半導体レーザーにおいては、いわゆる端面コーティングが施されている。すなわち、図8はこの第5実施例による半導体レーザーの

共振器長方向に平行な断面を示す。図8に示すように、共振器長方向に垂直な一対の共振器端面のうちレーザー光が取り出されるフロント側の端面には厚さ74nmの Al_2O_3 膜13と厚さ31nmのSi膜14とから成る多層膜がコーティングされ、共振器長方向に垂直な一対の共振器端面のうちレーザー光が取り出されないリア側の端面には厚さ74nmの Al_2O_3 膜13と厚さ31nmのSi膜14とを2周期積層した多層膜がコーティングされている。ここで、 Al_2O_3 膜13とSi膜14とから成る多層膜の厚さは、それに屈折率をかけた光学的距離が、レーザー光の発振波長の $1/4$ に等しくなるように選ばれている。この場合、フロント側の端面の反射率は70%であり、リア側の端面の反射率は95%である。

【0083】この第5実施例においては、活性層5は例えば厚さが9nmのi型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層から成る単一量子井戸構造を有する。この場合、n型 $ZnSe$ 光導波層4およびp型 $ZnSe$ 光導波層6が障壁層を構成することは第1実施例と同様である。

【0084】n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7のMg組成比pは例えば0.09、またS組成比qは例えば0.18であり、そのときのバンドギャップ E_g は77Kで約2.94eVである。これらのMg組成比 $p=0.09$ およびS組成比 $q=0.18$ を有するn型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7はGaAsと格子整合する。また、活性層5を構成するi型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層のCd組成比zは例えば0.19であり、そのときのバンドギャップ E_g は77Kで約2.54eVである。この場合、n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およびp型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7と活性層5を構成するi型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層との間のバンドギャップ E_g の差 ΔE_g は0.40eVである。

【0085】この場合、n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3の厚さは例えば1.5 μm であり、不純物濃度は $N_D - N_A$ （ただし、 N_D はドナー濃度、 N_A はアクセプタ濃度）で例えば $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ である。n型 $ZnSe$ 光導波層4の厚さは例えば80nmであり、不純物濃度は $N_D - N_A$ で例えば $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ である。また、p型 $ZnSe$ 光導波層6の厚さは例えば80nmであり、不純物濃度は $N_A - N_D$ で例えば $5 \times 10^{17} cm^{-3}$ である。p型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7の厚さは例えば0.8 μm であり、不純物濃度は $N_A - N_D$ で例えば $2 \times 10^{17} cm^{-3}$ である。p型 $ZnSvSe_{1-v}$ 層12の厚さは例えば0.8 μm であり、不純物濃度は $N_A - N_D$ で例えば $8 \times 10^{17} cm^{-3}$ である。p型 $ZnSe$ キャップ層8の厚さは例えば45nmであり、不純物濃度は $N_A - N_D$ で例えば

$8 \times 10^{17} cm^{-3}$ である。なお、n型 $ZnSe$ バッファ層2の厚さは、例えば33nmである。

【0086】この第5実施例による半導体レーザーの共振器長Lは例えば640 μm に選ばれ、この共振器長方向に垂直な方向の幅は例えば400 μm に選ばれる。

【0087】次に、上述のように構成されたこの第5実施例による半導体レーザーの製造方法について説明する。

【0088】この第5実施例による半導体レーザーを製造するには、まず、n型GaAs基板1上に、例えばMBE法により例えば成長温度280℃で、n型 $ZnSe$ バッファ層2、n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3、n型 $ZnSe$ 光導波層4、i型 $Zn_{1-z}Cd_zSe$ 量子井戸層から成る活性層5、p型 $ZnSe$ 光導波層6、p型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7、p型 $ZnSvSe_{1-v}$ 層12およびp型 $ZnSe$ キャップ層8を順次エピタキシャル成長させる。

【0089】上述のMBE法によるエピタキシャル成長においては、第1実施例と同様に、Zn原料としては純度99.9999%のZnを用い、Mg原料としては純度99.9%のMgを用い、S原料としては99.9999%のZnSを用い、Se原料としては純度99.9999%のSeを用いる。また、n型 $ZnSe$ バッファ層2、n型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層3およびn型 $ZnSe$ 光導波層4のn型不純物としてのClのドーピングは例えば純度99.9999%のZnCl₂をドーパントとして用いて行う。第1実施例と同様に、p型 $ZnSe$ 光導波層6、p型 $Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}$ クラッド層7およびp型 $ZnSe$ キャップ層8のp型不純物としてのNのドーピングは、ECRにより発生されたN₂プラズマを照射することにより行う。

【0090】次に、p型 $ZnSe$ キャップ層8上に所定幅のストライプ形状のレジストパターン（図示せず）を形成した後、このレジストパターンをマスクとしてp型 $ZnSvSe_{1-v}$ 層12の厚さ方向の途中までウエットエッチング法によりエッチングする。これによって、p型 $ZnSe$ キャップ層8およびp型 $ZnSvSe_{1-v}$ 層12の上層部がストライプ状にパターンニングされる。

【0091】次に、上述のエッチングに用いたレジストパターンを残したまま全面に Al_2O_3 膜を真空蒸着した後、このレジストパターンを、その上に形成された Al_2O_3 膜とともに除去する（リフトオフ）。これによって、ストライプ部以外の部分のp型 $ZnSvSe_{1-v}$ 層12上にのみ Al_2O_3 膜から成る絶縁層9が形成される。

【0092】次に、ストライプ形状のp型 $ZnSe$ キャップ層8および絶縁層9の全面にPd膜、Pt膜およびAu膜を順次真空蒸着してAu/Pt/Pd電極から成るp側電極10を形成し、その後必要に応じて熱処理を行って、このp側電極10をp型 $ZnSe$ キャップ層8

25

にオーミックコンタクトさせる。一方、 n 型GaAs基板1の裏面にはIn電極のような n 側電極11を形成する。

【0093】この後、以上のようにしてレーザー構造が形成された n 型GaAs基板1を例えば幅 $640\mu\text{m}$ のバー状に劈開して両共振器端面を形成した後、真空蒸着法により、フロント側の端面に Al_2O_3 膜13とSi膜14とから成る多層膜を形成するとともに、リア側の端面に Al_2O_3 膜13とSi膜14とを2周期繰り返した多層膜を形成する。このように端面コーティングを施した後、このバーを例えば幅 $400\mu\text{m}$ に劈開してチップ化し、パッケージングを行う。

【0094】この第5実施例による半導体レーザーの室温(296K)における光出力-電流特性を注入電流を連続的に流した場合とパルス的に流した場合とについて測定した結果を図9に示す。測定は、レーザーチップを例えば銅製のヒートシンク上に、 p 側電極10が下側になるように、すなわち p サイド・ダウンでマウントして行った。図9からわかるように、注入電流を連続的に流した場合のしきい値電流 I_{th} は約 45mA であり、これは約 $1.5\text{kA}/\text{cm}^2$ のしきい値電流密度 J_{th} に対応する。一方、注入電流をパルス的に流した場合のしきい値電流 I_{th} は約 42mA である。ここで、注入電流を連続的に流した場合の光出力-電流特性の測定は、注入電流を $500\text{mA}/\text{秒}$ の速さで0から 100mA に増加させて行った。一方、注入電流をパルス的に流した場合の光出力-電流特性の測定は、注入電流のパルス幅 $2\mu\text{s}$ 、繰り返し速度 1ms で行った。図9からわかるように、注入電流をパルス的に流した場合および連続的に流した場合のスロープ効率 S_d はそれぞれ $0.34\text{W}/\text{A}$ および $0.31\text{W}/\text{A}$ である。レーザー発振のしきい値における p 側電極10および n 側電極11間の印加電圧は約 17V である。

【0095】図10はこの第5実施例による半導体レーザーを室温(296K)で発振させたときの発光スペクトルの測定結果を示す。図10からわかるように、パルス動作させた場合および連続動作させた場合においてそれぞれ 521.6nm および 523.5nm の波長で誘導放出が観測される。

【0096】以上のことからわかるように、この第5実施例によれば、室温において波長 523.5nm で連続発振可能な緑色発光でしかも低しきい値電流密度のSCH構造を有する半導体レーザーを実現することができる。

【0097】以上、この発明の実施例について具体的に説明したが、この発明は、上述の実施例に限定されるものではなく、この発明の技術的思想に基づく各種の変形が可能である。

【0098】例えば、上述の第1実施例、第2実施例および第5実施例において用いられている n 型ZnSe光

26

導波層4および p 型ZnSe光導波層6の代わりに i 型ZnSe光導波層を用いてもよい。

【0099】また、上述の第1実施例においては、活性層5は i 型 $\text{Zn}_{1-z}\text{Cd}_z\text{Se}$ 量子井戸層だけにより構成されているが、この活性層5は、場合によっては、図11に示すように、 i 型ZnSe障壁層5b、 i 型 $\text{Zn}_{1-z}\text{Cd}_z\text{Se}$ 量子井戸層5aおよび i 型ZnSe障壁層5dを順次積層した単一量子井戸構造としてもよい。ここで、 i 型 $\text{Zn}_{1-z}\text{Cd}_z\text{Se}$ 量子井戸層5aの厚さは例えば 6nm であり、 i 型ZnSe障壁層5bおよび i 型ZnSe障壁層5dの厚さは例えばそれぞれ 4nm である。

【0100】同様に、上述の第2実施例における活性層5は、場合によっては、図12に示すように、 i 型ZnSe障壁層5b、 i 型 $\text{Zn}_{1-z}\text{Cd}_z\text{Se}$ 量子井戸層5a、 i 型ZnSe障壁層5d、 i 型 $\text{Zn}_{1-z}\text{Cd}_z\text{Se}$ 量子井戸層5cおよび i 型ZnSe障壁層5eを順次積層した二重量子井戸構造としてもよい。ここで、 i 型 $\text{Zn}_{1-z}\text{Cd}_z\text{Se}$ 量子井戸層5aおよび i 型 $\text{Zn}_{1-z}\text{Cd}_z\text{Se}$ 量子井戸層5cの厚さはそれぞれ例えば 6nm であり、 i 型ZnSe障壁層5b、 i 型ZnSe障壁層5dおよび i 型ZnSe障壁層5eの厚さは例えばそれぞれ 4nm である。

【0101】また、上述の第1実施例～第5実施例において、 p 型ZnSeキャップ層8上にこの p 型ZnSeキャップ層8よりも高不純物濃度のものが容易に得られる p 型ZnTeキャップ層を形成し、この p 型ZnTeキャップ層に p 側電極10をコンタクトさせるようにしてもよい。さらに、この p 型ZnTeキャップ層と p 型ZnSeキャップ層8との接合部において p 型ZnSeキャップ層8側に形成される空乏層内に、 p 型ZnTeから成る量子井戸層と p 型ZnSeから成る障壁層とを交互に積層した構造の多重量子井戸(MQW)層を設け、このMQW層のそれぞれの量子井戸層の厚さをその量子準位が p 型ZnSeおよび p 型ZnTeの価電子帯の頂上のエネルギーとほぼ等しくなるように選び、これらの量子準位を介して正孔を共鳴トンネリングにより伝導させるようにしてもよい。このようにすれば、 p 側電極10のコンタクト特性の向上を図ることが可能である。

【0102】また、上述の第1実施例～第5実施例においては、 p 型ZnSe光導波層6、 p 型 $\text{Zn}_{1-p}\text{Mg}_p\text{Se}_{1-q}\text{S}_q$ クラッド層7、 p 型 $\text{ZnSv}\text{Se}_{1-v}$ 層12および p 型ZnSeキャップ層8の p 型不純物としてのNのドーピングはECRにより発生された N_2 プラズマを照射することにより行っているが、このNのドーピングは、例えば、高周波プラズマにより励起された N_2 を照射することにより行うようにしてもよい。

【0103】さらに、上述の第1実施例～第5実施例においては、化合物半導体基板としてGaAs基板を用い

ているが、この化合物半導体基板としては、例えばGaP基板などを用いてもよい。

【0104】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、ZnMgSSe系化合物半導体をクラッド層の材料として用いた、青色ないし緑色で発光が可能な低しきい値電流の半導体レーザーを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の第1実施例による半導体レーザーを示す断面図である。

【図2】この発明の第1実施例による半導体レーザーのエネルギーバンド図である。

【図3】この発明の第1実施例による半導体レーザーの光出力-電流特性の測定結果の一例を示すグラフである。

【図4】この発明の第2実施例による半導体レーザーにおける活性層の詳細構造を示す断面図である。

【図5】この発明の第2実施例による半導体レーザーの活性層のエネルギーバンド図である。

【図6】この発明の第3実施例による半導体レーザーを示す断面図である。

【図7】この発明の第5実施例による半導体レーザーを示す断面図である。

【図8】この発明の第5実施例による半導体レーザーを示す断面図である。

【図9】この発明の第5実施例による半導体レーザーの室温における光出力-電流特性の測定結果の一例を示すグラフである。

【図10】この発明の第5実施例による半導体レーザー

の室温における発光スペクトルの測定結果の一例を示すグラフである。

【図11】この発明の第1実施例の変形例を説明するための断面図である。

【図12】この発明の第2実施例の変形例を説明するための断面図である。

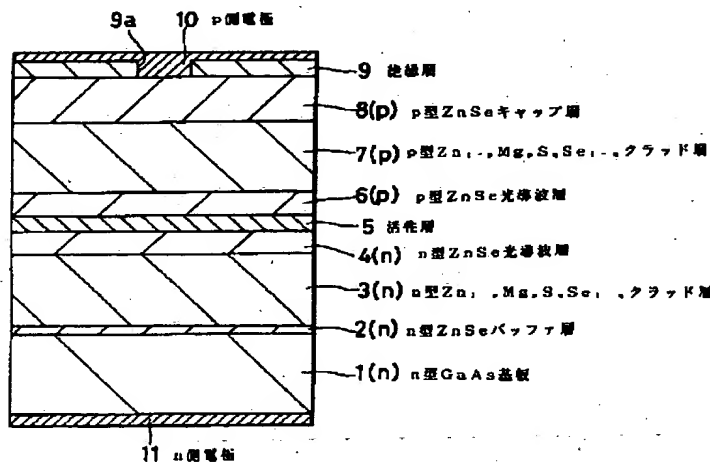
【図13】DH構造を有する半導体レーザーおよびSCH構造を有する半導体レーザーのしきい値電流密度の活性層の厚さ依存性を計算により求めた結果を示すグラフである。

【図14】DH構造を有する半導体レーザーにおける厚さ70nmのZnSSe活性層からのフォトルミネッセンス強度の減衰曲線を示すグラフである。

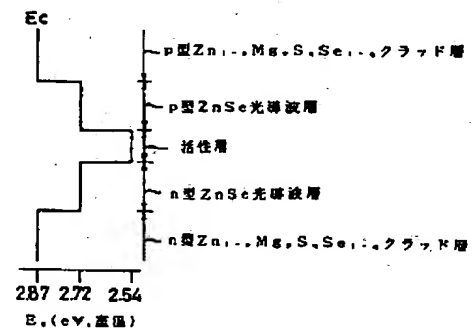
【符号の説明】

- 1 n型GaAs基板
- 2 n型ZnSeバッファ層
- 3 n型Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}クラッド層
- 4 n型ZnSe光導波層
- 5 活性層
- 6 p型ZnSe光導波層
- 7 p型Zn_{1-p}Mg_pS_qSe_{1-q}クラッド層
- 8 p型ZnSeキャップ層
- 9 絶縁層
- 9a 開口
- 10 p側電極
- 11 n側電極
- 12 p型ZnSvSe_{1-v}層
- 13 Al₂O₃膜
- 14 Si膜

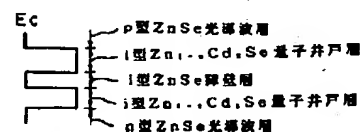
【図1】



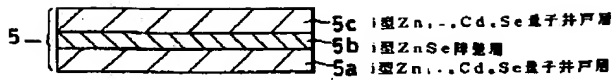
【図2】



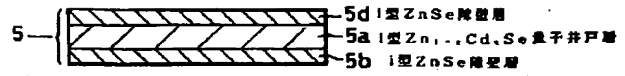
【図5】



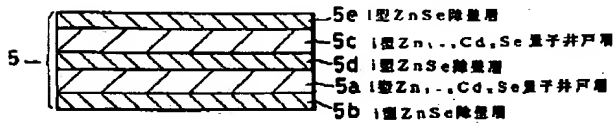
【図4】



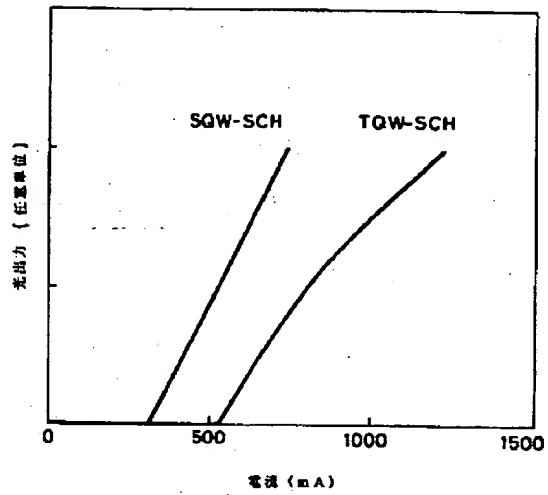
【図11】



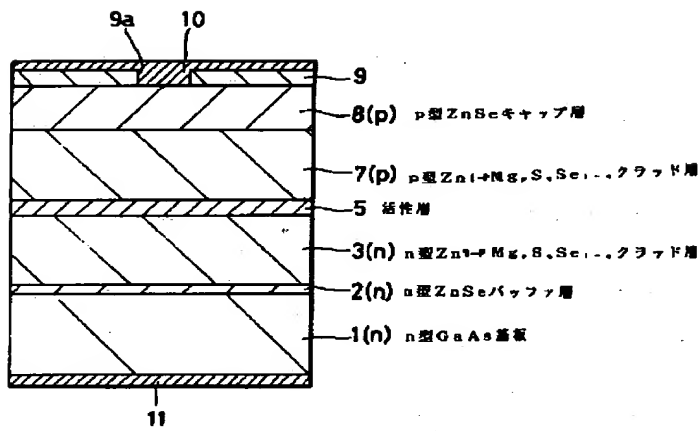
【図12】



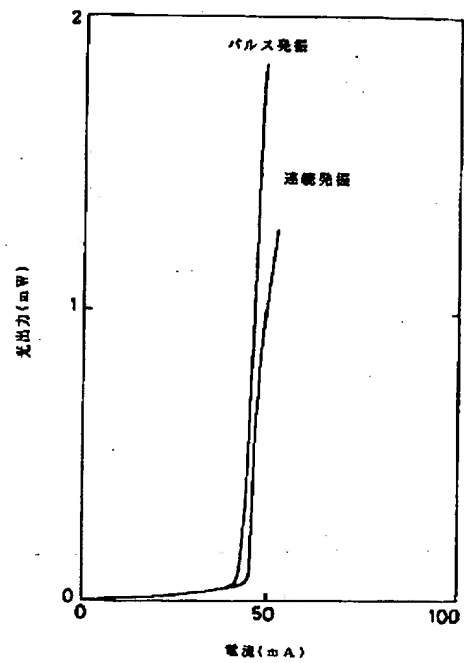
【図3】



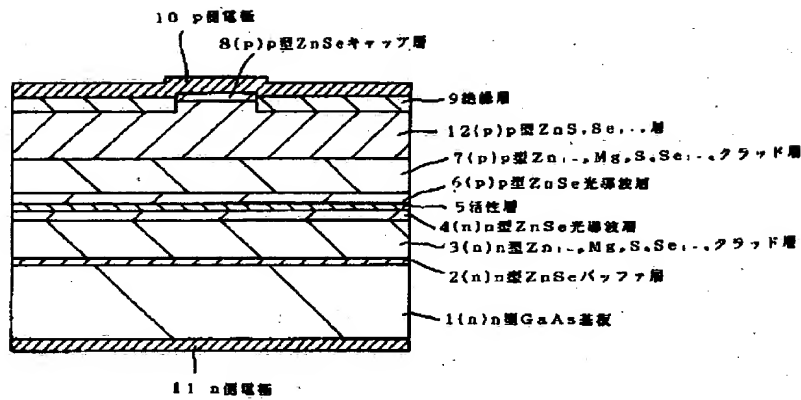
【図6】



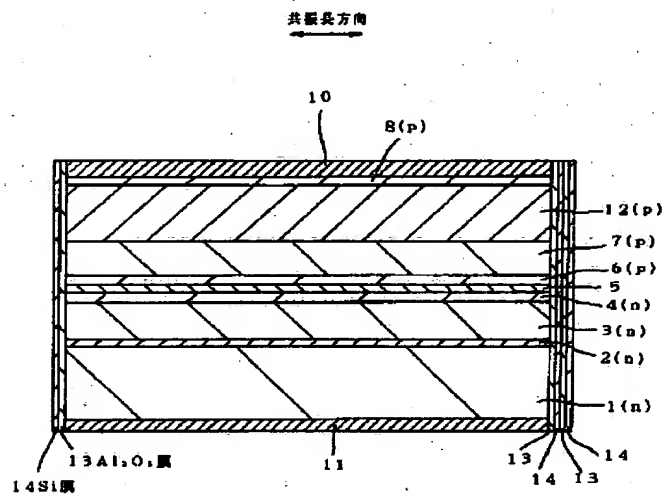
【図9】



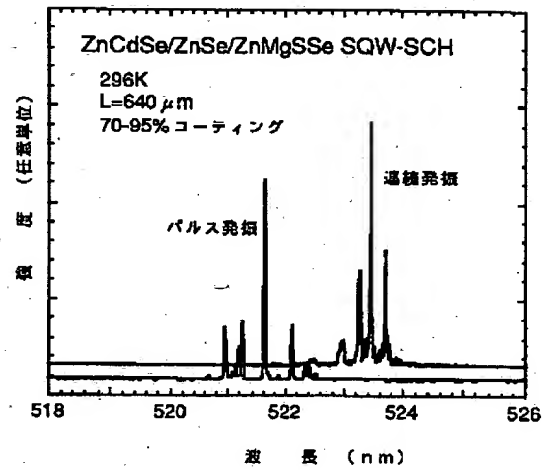
【図7】



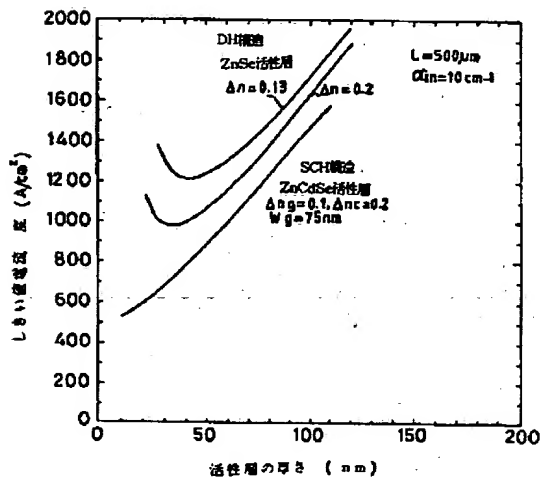
【図8】



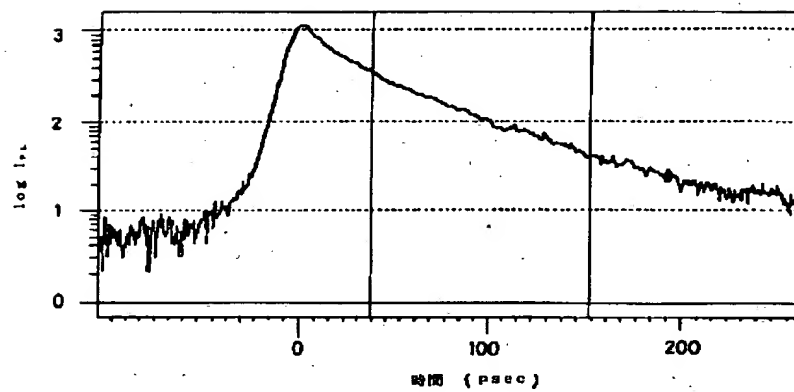
【図10】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 中山 典一
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内